

مدیریت پایدار جنگل با جنگل‌شناسی تطبیقی در شرایط ناپایداری اقلیمی

محسن جوانمیری پور*

* استادیار پژوهش، بخش تحقیقات و آموزش جنگل و مرتع، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات و آموزش ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران. mjavanmiri@ut.ac.ir

چکیده

تغییرات اقلیمی به عنوان یکی از بزرگترین چالش‌های قرن حاضر، بوم‌سازگان‌های جنگلی را در سراسر جهان با تهدیدهای بی‌سابقه‌ای مانند افزایش دما، تغییر الگوی بارش، وقوع خشکسالی‌های شدید و طغیان آفات و بیماری‌ها مواجه ساخته است. رویکردهای سنتی مدیریت جنگل که بر پایه ثبات شرایط اقلیمی گذشته استوار بودند، دیگر کارآمدی لازم را ندارند. این مقاله به بررسی مفهوم جنگل‌شناسی تطبیقی به عنوان یک پارادایم نوین و راهبردی انعطاف‌پذیر برای مدیریت جنگل‌ها در برابر تغییرات اقلیمی می‌پردازد. جنگل‌شناسی تطبیقی بر پایه یادگیری فعال، پایش مستمر و تنظیم مدیریت بر اساس واکنش‌های بوم‌سازگان به تغییرات، استوار است. در این مقاله، اصول کلیدی، راهبردهای عملی و چالش‌های پیش روی این رویکرد مورد بحث قرار می‌گیرد. نتایج نشان می‌دهد که ادغام دانش بومی با علم روز، سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه و ایجاد چارچوب‌های حکمرانی انعطاف‌پذیر، برای موفقیت جنگل‌شناسی تطبیقی و تضمین ارائه خدمات بوم‌سازگانی جنگل‌ها برای نسل‌های آینده، ضروری است.

واژگان کلیدی: انعطاف‌پذیری بوم‌سازگان، تغییرات اقلیمی، جنگل‌شناسی تطبیقی، سازگاری، مدیریت جنگل.

بیان مسئله

جنگل‌ها به عنوان حیاتی‌ترین بوم‌سازگان‌های کره زمین، نقشی اساسی در تنظیم زیست‌کره دارند. این بوم‌سازگان‌ها علاوه بر جذب دی‌اکسید کربن و تولید اکسیژن، حدود ۸۰ درصد کربن زمینی را ذخیره کرده و زیستگاه نزدیک به ۸۰ درصد گونه‌های خشکی‌زی هستند (Pan et al., 2011). همچنین خدمات بوم‌سازگانی متعددی از جمله تنظیم چرخه آب، حفاظت خاک و تأمین معیشت جوامع محلی ارائه می‌دهند.

با این حال، تغییرات اقلیمی ناشی از فعالیت‌های انسانی، پایداری این بوم‌سازگان‌ها را تهدید کرده است. افزایش بی‌سابقه گازهای گلخانه‌ای موجب تغییر دما، الگوهای بارش و فراوانی رویدادهای حدی شده است (FAO, 2020). پیامدها شامل جابه‌جایی دامنه پراکنش گونه‌های درختی، افزایش تنش آبی، مرگ‌ومیر گسترده درختان و برهم خوردن تعادل‌های بوم‌شناختی است (IPCC, 2022). افزایش آتش‌سوزی، طوفان‌ها، یخبندان‌های دیررس و طغیان‌های آفات از دیگر پیامدهاست (اعتماد و همکاران، ۱۴۰۳). شرایط گرم‌تر و خشک‌تر، جنگل‌ها را به مخازن سوخت تبدیل کرده و زمستان‌های ملایم‌تر بقای آفات را افزایش داده است؛ به گونه‌ای که شیوع سوسک پوست‌خوار کاج در آمریکای شمالی با تغییرات اقلیمی مرتبط دانسته شده است (Bentz et al., 2010). این تحولات، فرآیندهای تجدید نسل طبیعی را تضعیف کرده و توان سازگاری جنگل‌ها را کاهش می‌دهد (McDowell et al., 2020).

در چنین شرایطی، مدیریت سنتی مبتنی بر الگوهای اقلیمی گذشته ناکارآمد و مخاطره‌آمیز است و ضرورت بازنگری بنیادین در فلسفه مدیریت جنگل احساس می‌شود (Locatelli et al., 2015). در این چارچوب، جنگل‌شناسی تطبیقی به عنوان رویکردی پویا و آینده‌نگر مطرح می‌شود که بر پایش مستمر، مداخلات قابل تعدیل و یادگیری از پاسخ بوم‌سازگان استوار است (Bolte et al., 2009). هدف نهایی، تقویت تاب‌آوری و ظرفیت سازگاری در برابر عدم قطعیت‌های اقلیمی است (Nagel et al., 2017). هدف اصلی این مطالعه، تدوین راهکارهای مدیریت تطبیقی و پایدار برای حفظ کارکردهای جنگل در شرایط اقلیمی متغیر است. پژوهش حاضر با رویکردی تطبیقی، اثرات تغییر اقلیم را بررسی، راهبردهای موجود را تحلیل و چارچوبی عملیاتی برای افزایش تاب‌آوری ارائه می‌دهد. این مطالعه به صورت مرور نظام‌مند در پایگاه‌های Web of Science، Scopus، Google Scholar و SID برای بازه ۲۰۰۳-۲۰۲۰ انجام شد. مطالعات تجربی یا تحلیلی که اثر روش‌های مدیریت را در شرایط تغییر اقلیم ارزیابی کرده بودند، وارد بررسی شدند. فرآیند انتخاب در دو مرحله توسط دو پژوهشگر مستقل و مطابق با PRISMA مستندسازی گردید. کیفیت مطالعات با چک‌لیست مبتنی بر CASP و PRISMA ارزیابی و پژوهش‌های کم‌کیفیت حذف شدند. به دلیل ناهمگونی داده‌ها، سنتز نهایی به صورت کیفی - توصیفی انجام و یافته‌ها از منظر کارآیی مدیریتی، قابلیت انتقال به شرایط ایران و اولویت‌های پژوهشی آینده تحلیل شد.

دستاوردها

۱. چستی جنگل‌شناسی تطبیقی

جنگل‌شناسی تطبیقی یعنی مدیریت هوشمند در دنیای در حال تغییر

نتایج نشان می‌دهد جنگل‌شناسی تطبیقی در مقایسه با مدیریت سنتی ایستا، رویکردی مؤثرتر است. افزایش عدم قطعیت اقلیمی و فشارهای انسانی، کارآیی الگوهای مبتنی بر اهداف ثابت را کاهش و تاب‌آوری جنگل‌ها را تضعیف کرده است. در مقابل، رویکرد تطبیقی با تأکید بر یادگیری مستمر، انعطاف‌پذیری و اصلاح تدریجی تصمیم‌ها، سازگاری فعال جنگل‌ها با شرایط متغیر آینده را امکان‌پذیر می‌سازد (جدول ۱).

جدول ۱- خلاصه‌ای از مباحث مرتبط درباره جنگل‌شناسی تطبیقی

محور بحث	توضیحات کلیدی
ماهیت و تعریف	جنگل‌شناسی تطبیقی یک پارادایم مدرن در مدیریت منابع جنگلی است که بر یادگیری فعال، اصلاح مستمر و سازگاری با تغییرات استوار است.
علت شکل‌گیری	ناکارآمدی روش‌های سنتی و ایستا در مواجهه با شرایط متغیر و غیرقابل پیش‌بینی، به‌ویژه در زمینه تغییرات اقلیمی و فشارهای انسانی
ویژگی‌های روش‌های سنتی	مبتنی بر اهداف ثابت (مانند حداکثر تولید چوب)، فرض ثبات اکوسیستم‌ها و ناتوان در پاسخ به تغییرات سریع محیطی و اجتماعی
چالش‌های عصر حاضر	- تغییرات اقلیمی (افزایش دما، تغییر الگوی بارش، خشکسالی، طوفان، آتش‌سوزی، آفات و بیماری‌های نوظهور) - فشارهای انسانی برای بهره‌برداری از خدمات متعدد جنگل (آب، خاک، تفرج، کربن و غیره)
نقش عدم قطعیت علمی	شناخت محدود و ناقص از واکنش‌های پیچیده جنگل به مداخلات مدیریتی و تغییرات محیطی که مدیریت سنتی را ناکافی می‌سازد.
پیامد تداوم رویکردهای قدیمی	شکست پروژه‌های جنگلداری، کاهش تاب‌آوری و انعطاف‌پذیری جنگل و در نهایت تخریب سرمایه‌های طبیعی
هدف و ضرورت جنگل‌شناسی تطبیقی	مدیریت فعالانه، یادگیرنده و هوشمندانه در برابر عدم قطعیت‌ها و تغییرات سریع برای حفظ پایداری و تاب‌آوری جنگل‌ها

۲. سه پایه اصلی جنگل‌شناسی تطبیقی

جنگل‌شناسی تطبیقی رویکردی پویا و چرخه‌ای است که بر سه پایه پایش مستمر، یادگیری از پاسخ جنگل به مداخلات، و تنظیم اقدامات در سطوح مختلف استوار است. این چرخه با جایگزینی مدیریت ایستا به جای یادگیری فعال و اصلاح تدریجی تصمیم‌ها، تاب‌آوری و سازگاری جنگل‌ها را در برابر عدم قطعیت‌های اقلیمی افزایش می‌دهد (جدول ۲).

جدول ۲- چرخه سه مرحله‌ای جنگل‌شناسی تطبیقی

محور اصلی	نقش و کارکرد	مؤلفه‌ها و شاخص‌های کلیدی	خروجی و دستاورد
الف) پایش و ارزیابی (چشم‌ها و گوش‌های مدیریت)	فراهم‌سازی داده‌ها و اطلاعات واقعی برای شناخت وضعیت	ساختار توده جنگلی: تراکم، توزیع سنی و قطری، زادآوری طبیعی	داده‌های معتبر و مستمر برای تحلیل تغییرات و تصمیم‌سازی آگاهانه
ب) یادگیری (تبدیل داده به خرد)	جنگل و ارزیابی تأثیر اقدامات مدیریتی	- تنوع زیستی: گونه‌های گیاهی، پرندگان، حشرات - سلامت درختان: خشکیدگی، آفات و بیماری‌ها - عملکرد بوم‌سازگانی: ذخیره کربن، کیفیت و کمیت آب - داده‌های اقلیمی: دما، بارش، رطوبت خاک	شکل‌گیری دانش و بینش جدید برای اصلاح تصمیم‌ها؛ تبدیل مدیر از ناظر به یادگیرنده فعال
ج) تنظیم و تطبیق (هوشمندی در عمل)	اصلاح و بازنگری اقدامات بر اساس یافته‌های مرحله یادگیری برای بهبود اثربخشی مدیریت	- تطبیق عملیاتی: تغییر فصل یا شدت بهره‌برداری - تطبیق تاکتیکی: اصلاح طرح‌های کوتاه‌مدت - تطبیق راهبردی: بازنگری اهداف بلندمدت (مثلاً از تولید چوب به ذخیره کربن یا افزایش تاب‌آوری)	افزایش انعطاف‌پذیری، کارایی و پایداری مدیریت جنگل در چرخه‌های بعدی

۳. جنگل‌شناسی تطبیقی در عمل با ذکر یک مثال عینی

در یک جنگل بلوط تحت تنش خشکسالی تنک‌کردن متوسط بر اساس دانش سنتی اجرا شد، اما پایش پنج‌ساله نشان داد خشکیدگی در عرصه تیمار شده بیش از شاهد است. تحلیل داده‌ها آشکار کرد کاهش تاج‌پوشش، رطوبت خاک را کاهش و تنش آبی را تشدید کرده است. بنابراین راهبرد به تنک‌کردن سبک و لکه‌ای (برای حفظ سایه‌اندازی و رطوبت خاک) و استفاده از گونه‌های مقاوم به خشکی تطبیق یافت. این مثال نشان می‌دهد چرخه پایش، یادگیری و تطبیق چگونه از تداوم روش‌های ناکارآمد جلوگیری کرده و مدیریت را به‌سوی راهکارهای سازگار با پویایی بوم‌سازگان هدایت می‌کند (جدول ۳).

جدول ۳- مثال عینی در ارتباط با چرخه جنگل‌شناسی تطبیقی

مرحله چرخه	اقدام در مثال بلوط	مشاهده / داده‌ها	تحلیل و یادگیری	تطبیق مدیریتی
پایش و ارزیابی	تنک کردن متوسط در عرصه جنگل برای افزایش رشد درختان	پس از ۵ سال، میزان خشکیدگی در عرصه تنک شده بیشتر از عرصه شاهد	کاهش تراکم تاج پوشش منجر به افزایش تابش مستقیم و وزش باد در نتیجه کاهش رطوبت خاک و تشدید استرس آبی	شناسایی مشکل ناشی از روش اولیه تنک کردن؛ نیاز به بازنگری در راهبرد
یادگیری	تحلیل داده‌ها و بررسی علل خشکیدگی	فرضیه اولیه (تنک کردن) = افزایش رشد) نادرست بوده است	کاهش تراکم تاج پوشش اثر منفی روی حفظ رطوبت خاک در شرایط خشکسالی دارد.	درک اهمیت حفظ سایه‌انداز و رطوبت برای تاب‌آوری جنگل
تنظیم و تطبیق	اصلاح راهبرد مدیریت	-	اتخاذ تصمیمات مدیریتی مبتنی بر دانش جدید	تنک کردن سبک و لکه‌ای به جای یکنواخت کاشت گونه‌های مقاوم به خشکی حفظ سایه و رطوبت خاک

۴. راهبردهای اصلی جنگل‌شناسی تطبیقی

نتایج نشان می‌دهد که عملیاتی‌سازی جنگل‌شناسی تطبیقی بر سه راهبرد کلیدی یعنی جنگل‌کاری با گونه‌ها یا خاستگاه‌های سازگار با اقلیم آینده، با اولویت گونه‌های بومی و استفاده محتاطانه از ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی یا گونه‌های غیربومی در چارچوب پایش‌پذیر استوار است.

ایجاد جنگل‌های آمیخته به‌عنوان راهبردی مؤثر برای کاهش ریسک اکولوژیکی، افزایش کارایی بهره‌برداری از منابع و حفظ عملکرد بوم‌سازگان در برابر آفات، بیماری‌ها و آشفته‌گی‌ها و حفظ یا بازآفرینی تنوع سنی و ساختاری با تقلید از الگوهای

طبیعی جنگل که موجب افزایش مقاومت در برابر باد، آتش‌سوزی و تضمین تداوم زادآوری و بازیابی پس از آشفستگی می‌شود (جدول ۴).

جدول ۴- راهبردهای اصلی جنگل‌شناسی تطبیقی به منظور افزایش تاب‌آوری و پایداری جنگل‌ها در برابر تغییرات اقلیمی و آشفستگی‌های محیطی

ردیف	عنوان راهبرد	مفهوم و منطق اصلی	اقدامات کلیدی	پیامدها و مزایای اکولوژیکی
۱	جنگل‌کاری با گونه‌های سازگار (کمک به طبیعت برای همگامی با تغییرات)	تسریع سازگاری جنگل با تغییرات اقلیمی از طریق کاشت آگاهانه گونه‌ها یا ژنوتیپ‌های سازگار با شرایط جدید	- استفاده از گونه‌ها یا خاستگاه‌های بومی مناطق گرم‌تر و خشک‌تر - اجرای طرح‌های آزمایشی با گونه‌های غیربومی مقاوم (مانند اکالیپتوس) با پایش دقیق اثرات	- افزایش مقاومت جنگل به خشکسالی و گرما - کاهش ریسک نابودی توده‌ها در برابر تغییرات شدید اقلیمی
۲	ایجاد جنگل‌های آمیخته (راهبرد کلاسیک مدیریت ریسک)	متنوع‌سازی ترکیب گونه‌ای برای کاهش آسیب‌پذیری سیستم در برابر آفات، بیماری‌ها و آشفستگی‌های طبیعی	- کاشت گونه‌های مختلف با ویژگی‌های بوم‌شناختی متفاوت (عمق ریشه، نیاز نوری و...) - ترکیب گونه‌های پهن‌برگ و سوزنی‌برگ در طراحی جنگل	- افزایش پایداری و تاب‌آوری کل بوم‌سازگان - استفاده بهینه از منابع آب، مواد غذایی و نور - کاهش رقابت درون‌توده‌ای
۳	حفظ و ایجاد تنوع سنی و ساختاری (بازآفرینی الگوی طبیعی جنگل)	تقلید از ساختار ناهمسال و چندآشکوبه جنگل‌های طبیعی برای افزایش مقاومت در برابر آشفستگی‌ها	- ایجاد توده‌های ناهمسال با درختان در اندازه‌ها و سنین مختلف - حفظ درختان کهنسال و زادآوری طبیعی - جلوگیری از یکنواختی در ساختار افقی و عمودی	- افزایش مقاومت در برابر باد، آتش و طوفان - تضمین تداوم نسل و احیای طبیعی پس از آشفستگی - کاهش شدت حریق از طریق جلوگیری از تشکیل نردبان آتش
۴	حفظ و اتصال زیستگاه‌ها (ایجاد کریدورهای زیستگاهی) (زیرساخت تاب‌آوری در مقیاس منظر)	کاهش تکه‌تکه‌شدگی زیستگاه‌ها و تسهیل مهاجرت گونه‌ها در پاسخ به تغییرات اقلیمی	- شناسایی و حفاظت از گذرگاه‌های طبیعی بین توده‌های جنگلی - ایجاد نوارهای سبز یا کریدورهای پیوسته بین زیستگاه‌های جدا افتاده - مدل‌سازی تغییرات آینده زیستگاه و به‌روزرسانی اولویت‌ها	- تسهیل مهاجرت گونه‌ها به ارتفاعات یا عرض‌های مناسب‌تر - تقویت جریان ژنی و جلوگیری از هم‌خونی - افزایش توان سازگاری و تکامل درازمدت اکوسیستم‌ها

۵. ارتقای تاب‌آوری و انعطاف‌پذیری

حفظ و اتصال زیستگاه‌ها به عنوان راهبردی کلان در جنگل‌شناسی تطبیقی با تسهیل جابه‌جایی گونه‌ها به سمت ارتفاعات و عرض‌های خنک‌تر، از خطر انقراض محلی می‌کاهد. ایجاد کریدورهای زیستگاهی با اتصال لکه‌های جنگلی، جریان ژن بین جمعیت‌های جدا افتاده را تقویت کرده و ظرفیت سازگاری و تداوم بلندمدت آنها را افزایش می‌دهد (جدول ۴).

۶. مدیریت مبتنی بر سناریو و آینده‌نگری

در جنگل‌شناسی تطبیقی، به‌جای برنامه‌های ایستا، از برنامه‌ریزی بر پایه سناریو و پروژه‌های پایلوت استفاده می‌شود. مدل‌های اقلیمی با شبیه‌سازی سناریوهای مختلف، بدون هدف پیش‌بینی قطعی، امکان آمادگی برای طیفی از آینده‌های محتمل را فراهم می‌کنند. پروژه‌های پایلوت نیز با آزمون راهبردهای نوین در مقیاس کوچک و پایش دقیق، بستری کم‌ریسک برای تولید دانش کاربردی ایجاد می‌کنند (جدول ۵).

جدول ۵- مدیریت مبتنی بر سناریو و آینده‌نگری در جنگل‌شناسی تطبیقی

محور / مرحله	مفهوم و منطق	اقدامات کلیدی	پیامدها و مزایای مدیریتی
برنامه‌ریزی بر پایه سناریو با مدل‌های اقلیمی	آماده‌سازی مدیران برای طیف وسیعی از آینده‌های محتمل به جای تکیه بر یک طرح قطعی	- استفاده از مدل‌های پیچیده اقلیمی و شبیه‌سازی تغییرات دما، بارش، رطوبت خاک و تواتر حوادث حدی - طراحی سناریوهای خوشبینانه، بدبینانه و میانی برای ارزیابی اثرات احتمالی بر جنگل	- افزایش انعطاف‌پذیری و تاب‌آوری مدیریت - امکان واکنش فعال و هوشمندانه به تغییرات اقلیمی واقعی - کاهش ریسک تصمیم‌گیری در مواجهه با عدم قطعیت
اجرای پروژه‌های پایلوت	آزمون راهبردها در مقیاس کوچک برای یادگیری عملی و کاهش ریسک	- اجرای آزمایش‌های کنترل‌شده با تیمارهای متفاوت (مثلاً سطوح مختلف تنک کردن یا گونه‌های مختلف) - تعریف عرصه شاهد برای مقایسه - پایش سیستماتیک متغیرهای کلیدی (سلامت درختان، رطوبت خاک، رشد و ...) - تحلیل داده‌ها پس از چند سال	- یادگیری از طریق عمل و به‌دست آوردن دانش کاربردی - شناسایی بهترین راهبردها برای افزایش تاب‌آوری - انتقال دانش موفق به مقیاس بزرگ‌تر در عرصه جنگل

۷. چالش‌های آتی

با وجود قدرت مفهومی جنگل‌شناسی تطبیقی، پیاده‌سازی آن با چهار چالش اصلی مواجه است: عدم قطعیت ذاتی سیستم‌های طبیعی- انسانی (تفاوت مقیاس مدل‌های اقلیمی و واکنش غیرقابل پیش‌بینی شبکه‌های بوم‌شناختی)، محدودیت‌های مالی و فنی (هزینه بالای پایش مستمر و کمبود نیروی متخصص)، چارچوب‌های قانونی و حکمرانی سخت (طرح‌های ثابت و ارزیابی‌های کوتاه‌مدت که انعطاف‌پذیری را محدود می‌کنند)، و ملاحظات اجتماعی و مقاومت در برابر تغییر (نگرانی‌های معیشتی، ترس از مداخلات نوین و تعارض منافع) که نیازمند فرآیندهای مشارکتی پیچیده است (جدول ۶).

جدول ۶- چالش‌های پیش‌روی جنگل‌شناسی تطبیقی

ردیف	محور چالش	توضیح / ماهیت	پیامدها و اثرات مدیریتی
۱	عدم قطعیت ذاتی و مقیاس نامتوازن	- مدل‌های اقلیمی کلان، پیش‌بینی دقیق محلی ارائه نمی‌دهند - واکنش‌های بوم‌شناختی غیرقابل پیش‌بینی (آفات، بیماری‌ها، تعاملات گونه‌ها)	- دشواری برنامه‌ریزی بلندمدت - ضرورت گنجاندن انعطاف‌پذیری در طرح‌ها - نیاز به چرخه مداوم پایش، یادگیری و تطبیق
۲	محدودیت‌های مالی و فنی	- هزینه بالای پایش مستمر و جمع‌آوری داده‌ها - کمبود نیروی انسانی متخصص در تحلیل داده و تصمیم‌گیری هوشمند	- اجرای ناقص چرخه پایش-یادگیری-تطبیق - مدیریت غالباً محدود به حفاظت پایه یا بهره‌برداری ساده - کاهش توان عملیاتی مدیریت تطبیقی
۳	چارچوب‌های قانونی و حکمرانی سخت	- الزام به اجرای طرح‌های بلندمدت و ثابت - ارزیابی عملکرد بر معیارهای کوتاه‌مدت و کمی، نه بر شاخص‌های پیچیده و بلندمدت	- محدود شدن امکان تطبیق سریع در پاسخ به تغییرات محیطی - مدیریت در چارچوب ایستا و ناکارآمد - عدم استفاده از دانش علمی برای تصمیم‌های به‌هنگام
۴	ملاحظات اجتماعی و مقاومت در برابر تغییر	- مقاومت جوامع محلی و ذی‌نفعان نسبت به تغییرات مدیریتی - ترس و بدبینی نسبت به اقدامات نوین (مثلاً کاشت گونه‌های غیربومی) - تضاد منافع بین اهداف مختلف (حفظ تنوع زیستی، تولید چوب، تفریح)	- پیچیدگی در اجرای موفقیت‌آمیز مدیریت تطبیقی - نیاز به فرآیندهای مشارکتی طولانی و شفاف - ضرورت کسب حمایت اجتماعی برای راهبردهای جدید

۸. جمع‌بندی نهایی برای عبور از چالش‌ها

غلبه بر موانع مالی، ساختاری و اجتماعی جنگل‌شناسی تطبیقی نیازمند تحول در نگرش، قوانین و سرمایه‌گذاری بر چهار محور کلیدی است: ایجاد چارچوب‌های حقوقی انعطاف‌پذیر که به مدیران اجازه تطبیق اقدامات بر اساس پایش مستمر را بدهد؛ تأمین مالی پایدار و مستقل برای پایش و پژوهش؛ آموزش و ظرفیت‌سازی مدیران به‌عنوان یادگیرندگان فعال در شرایط عدم قطعیت؛ و مشارکت واقعی ذی‌نفعان محلی در فرآیند تصمیم‌گیری. پذیرش این پارادوکس که خود فرآیند جنگل‌شناسی تطبیقی نیز نیازمند یادگیری و تنظیم مستمر است، برای موفقیت در بسترهای متنوع ضروری است (جدول ۷).

جدول ۷- راهکارهای عبور از چالش‌ها در جنگل‌شناسی تطبیقی

ردیف	پایه عبور از چالش	مفهوم و منطق	اقدامات کلیدی	اثرات و مزایا
۱	تغییر قوانین و چارچوب‌های حقوقی انعطاف‌پذیر	جایگزینی الزام به اجرای طرح‌های ثابت بلندمدت با اختیار مدیریت تطبیقی مبتنی بر دانش نوظهور	- اصلاح قوانین و مقررات برای اجازه تغییر در اقدامات مدیریتی - تدوین دستورالعمل‌های مبتنی بر اهداف کلان و قابل تطبیق	- امکان اجرای سریع اقدامات اصلاحی در مواجهه با تغییرات محیطی - افزایش انعطاف‌پذیری و اثربخشی مدیریت
۲	تأمین مالی پایدار	اختصاص بودجه مشخص و مستقل برای پایش و پژوهش به‌عنوان بخش جدایی‌ناپذیر مدیریت جنگل	- ایجاد صندوق‌های اختصاصی برای پایش و مطالعات علمی - تأمین منابع مالی بلندمدت و مستمر	- اجرای کامل چرخه پایش - یادگیری - تطبیق - کاهش محدودیت‌های عملیاتی ناشی از کمبود بودجه
۳	آموزش و ظرفیت‌سازی مدیران	تربیت مدیرانی که یادگیرنده فعال بوده و توانایی تحلیل داده‌های پیچیده و تصمیم‌گیری در شرایط عدم قطعیت را دارند	- آموزش تخصصی در بوم‌شناسی جنگل و تحلیل داده - تقویت مهارت‌های تصمیم‌گیری تطبیقی و آینده‌نگر	- افزایش توان علمی و عملی مدیران - بهبود کیفیت تصمیم‌گیری و اجرای راهبردهای تطبیقی
۴	مشارکت ذی‌نفعان	تبدیل جوامع محلی و سایر ذی‌نفعان از مانع به شریک فعال در یادگیری و تصمیم‌گیری	- ایجاد فرآیندهای مشارکتی شفاف و مستمر - گنجاندن دیدگاه‌ها و منافع محلی در طراحی و اجرای پروژه‌ها	- افزایش پذیرش اجتماعی راهبردهای نوین - کاهش تضاد منافع و ارتقای اثربخشی اقدامات مدیریتی
۵	پذیرش پارادوکس کلیدی	خود فرآیند اجرای جنگل‌شناسی تطبیقی، نیازمند یادگیری و تطبیق مستمر است	- پایش و بازنگری مداوم فرآیندها و چارچوب‌های مدیریتی - اعمال اصلاحات بر اساس بازخوردها و نتایج	- ایجاد مدیریت پویا و یادگیرنده - سازگاری بهتر با شرایط اجتماعی - بوم‌شناختی مختلف

توصیه ترویجی

- تغییر نگرش از کنترل به هم‌آوایی با طبیعت: جنگل‌شناسی تطبیقی فراتر از یک روش مدیریتی، یک تغییر پارادایم فرهنگی است. ما باید از نگاه حاکمیت بر طبیعت به سمت هم‌آوایی با سیستم پویای طبیعی حرکت کنیم. موفقیت در این مسیر نیازمند دو اصل انسانی است: فروتنی در یادگیری از طبیعت و شجاعت در تطبیق روش‌ها با واقعیت‌های پیچیده.
- اصلاح قوانین و ایجاد چارچوب‌های انعطاف‌پذیر: قوانین فعلی با طرح‌های جنگلداری ثابت و بلندمدت، انعطاف لازم برای مدیریت تطبیقی را نمی‌دهند. پیشنهاد می‌شود: تدوین طرح‌های مدیریت با قابلیت بازنگری دوره‌ای، صدور مجوز سریع برای پروژه‌های پایلوت، گنجاندن شاخص‌های تاب‌آوری در ارزیابی عملکرد، و حمایت قانونی از اشتراک‌گذاری داده‌ها.
- تقویت همکاری‌های بین‌المللی و استفاده از دانش جهانی: از سرمایه دانشی جهانی بهره بگیرید و از پروژه‌های موفق جنگل‌شناسی تطبیقی در نقاط مختلف جهان یاد کنید. این همکاری‌ها می‌تواند از دوباره‌کاری‌های پرهزینه جلوگیری کرده و مسیر موفقیت را کوتاه‌تر کند.

- ادغام دانش بومی با علوم مدرن: دانش محلی و تجربیات سنتی جوامع جنگل‌نشین، مکمل ارزشمندی برای مدل‌های علمی و اقلیمی است. این تلفیق، دقت و اثربخشی تصمیم‌گیری‌ها را به طور چشمگیری افزایش می‌دهد.
 - تأمین مالی پایدار برای پایش و پژوهش: پایش دایمی، قلب تپنده جنگل‌شناسی تطبیقی است. بدون بودجه پایدار و مستقل برای جمع‌آوری داده‌ها، تحلیل و پژوهش، چرخه پایش-یادگیری-تطبیق هرگز به درستی عمل نخواهد کرد.
 - ایجاد فرهنگ یادگیری مستمر: مدیران جنگل باید به عنوان یادگیرندگان فعال تربیت شوند؛ افرادی که توانایی تحلیل داده‌های پیچیده و تصمیم‌گیری در شرایط عدم قطعیت را داشته باشند. آموزش و ظرفیت‌سازی در این زمینه یک سرمایه‌گذاری اساسی است.
 - مشارکت واقعی ذی‌نفعان محلی: جوامع محلی را نه به عنوان مانع، بلکه به عنوان شریک کلیدی در فرآیند یادگیری و تصمیم‌گیری ببینید. مشارکت واقعی، مقاومت در برابر تغییر را کاهش داده و پایداری تصمیمات را تضمین می‌کند.
 - پذیرش پارادوکس یادگیری مستمر: خود فرآیند جنگل‌شناسی تطبیقی نیز نیازمند یادگیری، پایش و تنظیم مستمر است. هیچ مدل ثابت و کاملی وجود ندارد؛ ما همیشه در حال یادگیری هستیم.
- پیام نهایی:** ادامه رویکردهای ایستا در شرایط تغییرات اقلیمی بی‌سابقه، نه تنها ناکارآمد، بلکه تهدیدی مستقیم برای بقای جنگل‌هاست. ما جزئی از یک سیستم پیچیده، پویا و یادگیرنده هستیم که بقای ما در گرو توانایی هم‌آوایی و رشد همگام با آن است.

فهرست منابع

- اعتماد، و.، جوانمیری پور، م. و عسگری، م. ۱۴۰۳. جنگل‌شناسی بوم‌شناختی و پرورش جنگل: مفاهیم و کاربردها. انتشارات دانشگاه تهران. ۶۲۲ ص.
- Bentz, B.J., Régnière, J., Fettig, C.J., Hansen, E.M., Hayes, J.L., Hicke, J.A., Kelsey, R.G., Negrón, J.F. and Seybold, S.J. 2010. Climate Change and Bark Beetles of the Western United States and Canada: Direct and Indirect Effects. *BioScience*, 60 (8): 602-613.
- Bolte, A., Ammer, C., Löf, M., Nabuurs, G.J., Schall, P. and Spathelf, P. 2009. Adaptive forest management: A prerequisite for sustainable forestry in the face of climate change. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9633-3>
- FAO. 2020. Adaptive forest management-A practitioner's guide for climate change adaptation. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. 2022. Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report. Cambridge University Press.
- Locatelli, B., Catterall, C.P., Imbach, P., Kumar, C., Lasco, R., Marín-Spiotta, E., Mercer, B., Powers, J.S., Schwartz, N. and Uriarte, M. 2015. Tropical reforestation and climate change: Beyond carbon. *Restoration Ecology*, 23 (4): 337-343.
- McDowell, N.G., Allen, C.D., Anderson-Teixeira, K., Brando, P., Brien, R., Chambers, J., Christoffersen, B., Davies, S., Doughty, C., Duque, A., Espirito-Santo, F., Fisher, R., Fontes, C.G., Galbraith, D., Goodsman, D., Grossiord, C., Hartmann, H., Holm, J. and Zuidema, P.A. 2020. Pervasive shifts in forest dynamics in a changing world. *Science*, 368 (6494), eaaz9463.
- Nagel, L.M., Palik, B.J., Battaglia, M.A., D'Amato, A.W., Guldin, J.M., Swanston, C.W., Janowiak, M.K., Powers, M.P., Joyce, L.A., Millar, C.I., Peterson, D.L., Ganio, L.M., Kirschbaum, C. and Roske, M.R. 2017. Adaptive silviculture for climate change: A national experiment in manager-scientist partnerships. *Journal of Forestry*, 115 (3): 167-178.
- Pan, Y., Birdsey, R.A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P.E., Kurz, W.E., Phillips, O.L., Shvidenko, A., Lewis, S., Canadell, J., Ciais, P., Jackson, R., Pacala, S., McGuire, A., Piao, S., Rautiainen, A., Sitch, S. and Hayes, D. 2011. A Large and Persistent Carbon Sink in the World's Forests. *Science*, 333: 988-993.